

(19) BUNDESREPUBLIK

DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

(12) Offenlegungsschrift
(11) DE 3300865 A1

(51) Int. Cl. 3:

C 25 B 1/00

C 25 B 11/12

(21) Aktenzeichen: P 33 00 865.5
(22) Anmeldetag: 13. 1. 83
(43) Offenlegungstag: 21. 7. 83

(23) Innere Priorität: 16.01.82 DE 32011911

(71) Anmelder:
BASF AG, 6700 Ludwigshafen, DE

(72) Erfinder:

Puetter, Hermann, Dipl.-Chem. Dr., 6730 Neustadt,
DE; Roos, Hans, Dipl.-Chem. Dr., 6702 Bad
Duerkheim, DE

Bemerkungen

(54) Verfahren zur Herstellung von wässrigen Ti(III)-chlorid-Lösungen

Wässrige Titan(III)-chloridlösungen werden durch kathodische Reduktion von Titan(IV)-chloridlösungen in Zellen, in denen Katholyt und Anolyt voneinander getrennt sind, hergestellt. Als Kathoden setzt man Graphitelektroden ein, deren Oberfläche mit Boriden, Siliziden, Carbiden, Nitriden und/oder Oxiden des Titans, Wolframs, Zirkoniums, Tantals, Niobs und/oder Hafniums beschichtet sind. (33 00 865)

1 A 600 000 000 000

DE 3300865 A1

13.01.80

3300865

BASF Aktiengesellschaft

O.Z. 0050/35685

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung von wässrigen Titan(III)-chlorid-Lösungen durch kathodische Reduktion von Titan(IV)-chlorid-Lösungen in Zellen in denen Anolyt und Katholyt voneinander getrennt sind, dadurch gekennzeichnet, daß man als Kathoden Graphitelektroden einsetzt, deren Oberfläche mit Boriden, Siliziden, Carbiden, Nitriden und/oder Oxiden des Titans, Wolframs, Zirkoniums, Tantals, Niobs und/oder Hafniums beschichtet sind.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Schichtdicken 10 bis 40 μm betragen.
3. Verfahren nach Ansprüchen 1 bis 2, dadurch gekennzeichnet, daß der wässrige Katholyt 0,5 bis 37 Gew.% HCl und 0,5 bis 45 Gew.% TiCl_4 enthält und daß der salzsäure Anolyt ebenfalls TiCl_4 enthält, wobei das Verhältnis der Molaritäten an TiCl_4 im Anolyten und Katholyten 1:1,7 bis 1,7:1 beträgt.

25

30

35 676/81 Ki/HB 15.01.1982

Verfahren zur Herstellung von wässrigen Ti(III)-chlorid-Lösungen

- Nachdem in neuerer Zeit Titan(III)-Verbindungen, insbesondere Titan(III)-chlorid, verstärkt als Reduktionsmittel für verschiedene organische Verbindungen interessant geworden sind (Synthesis, 1979, 1-20), ist das Bedürfnis entstanden, Titan(III)-salzlösungen auf einfache und wirtschaftliche Weise herzustellen und die bei den verschiedenen Reduktionsprozessen anfallenden Lösungen, die Titan in vierwertiger Form enthalten, zu Titan-(III)-salzlösungen zu regenerieren und in den Reduktionsprozeß zurückzuführen.
- Als nachteilig erweist sich die geringe Löslichkeit, die Hydrolyseempfindlichkeit der Titansalzlösungen sowie die geringe Lagerstabilität der reduzierten Form (Ti^{3+}) - beispielsweise - wenn Sulfat das Gegenion darstellt. Am wenigsten problematisch sind Titanchloridlösungen in wässriger Salzsäure. Abgesehen davon, daß sich hier für technische Zwecke ausreichend hohe Titansalzkonzentrationen herstellen lassen, kann die Hydrolyse zu TiO_2 in einem weiten Konzentrations- und Temperaturbereich unterdrückt werden. Außerdem ist bekannt, daß $TiCl_3$ -Lösungen weniger luftempfindlich sind als Lösungen anderer Ti(III)-Salze.
- Über die Herstellung von Titan(III)-Lösungen bzw. die Regenerierung aus Ti(IV)-Salzlösungen ist bisher nur wenig bekannt geworden. Nach Gmelin 41, (1951), Seite 476 ist die Elektrolyse heute der gebräuchlichste Weg zur Darstellung von Ti(III)-Lösungen aus Ti(IV)-Salzlösungen. Als Anoden werden solche aus Platin eingesetzt, während die Kathoden aus Gold, Silberamalgam, Blei oder Zink bestehen. Goldelektroden sind teuer und sind, ebenso wie die Elektro-

troden aus den anderen Metallen gegenüber dem $TiCl_4$ - und HCl-haltigen Elektrolyten nicht genügend korrosionsfest.

- Zur Speicherung elektrischer Energie sind Sammler aus Kombinationen von Lösungssystemen aus Titan(IV)-Salzen und Eisen(II)-Salzen bekannt geworden, bei denen u.a. als Elektroden Graphit eingesetzt werden (Kangro et al, Electrochim. Acta, (1962), 7, 435ff). Bei diesen Systemen handelt es sich jedoch um Systeme die lediglich anorganische Komponenten enthalten. Die Anwendung von Graphitelektroden für die Reduktion und Regenerierung von $TiCl_4$ -Lösungen, die bei Reduktionsprozessen mit $TiCl_3$ -Lösungen anfallen und die häufig organische Verunreinigungen, z.B. Reste organischer Produkte oder Emulgatoren, die den Reduktionsprozeß mit der wässrigen $TiCl_3$ -Lösung beschleunigen, enthalten, führt zu unbefriedigenden Ergebnissen. Die Stromausbeuten sinken im Vergleich zu nicht kontaminierten Lösungen z.T. um mehr als die Hälfte ab. Außerdem ist oft in diesen Fällen - auch wenn der Effekt nicht so drastisch ist - die Reproduzierbarkeit von Stromausbeute und Zellenspannung (und damit der Energieausbeute) zu gering. Graphit besitzt normalerweise eine relativ offene Struktur mit vielen Poren. Diese hat, neben dem Vorteil, daß sie dem Graphit eine große Oberfläche verleiht, aber auch den Nachteil, daß sich dort der Elektroprozeß in einer an $TiCl_4$ verarmten Lösung fortsetzt, was zu verstärkten Nebenreaktionen führen kann. Im Falle der Reduktion des $TiCl_4$ ist dieses u.a. durch ein Ansteigen der Wasserstoffbildung zu beobachten.
- Ein weiterer allgemeiner Nachteil bei der kathodischen Reduktion von wässrigen Lösungen von $TiCl_4$ liegt in dem Umstand, daß Titanverluste aus dem Reduktionsraum (dem Katholyten der Elektrolysezelle) unvermeidbar sind. Auch wenn man statt Diaphragmen oder anderer poröser Trenn-

- wände Ionenaustauschermembranen verwendet, können solche Verluste nicht vermieden werden. Neben dem Materialverlust treten noch weitere Effekte auf, die die Wirtschaftlichkeit des angestrebten Verfahrens vermindern, nämlich
- 5 dadurch, daß Titansalze durch Hydrolyse ausfallen und sich infolgedessen Beläge in der Zelle bilden. Hierdurch wird die Zellenspannung erhöht - schlimmstenfalls kann die Zelle verstopfen, muß demontiert und gereinigt werden. Durch entsprechende Einstellung der Säurekonzentration
- 10 kann der Gefahr der Hydrolyse zwar begegnet werden, je nach den Konzentrationsverhältnissen wird aber der osmotische Druck zwischen Katholyt und Anolyt so weit verändert, daß starke Verdünnungseffekte in einem der beiden Räume auftreten.
- 15 Der vorliegenden Erfindung lag daher die Aufgabe zugrunde, bei einem Verfahren zur Herstellung von wässrigen Titan(III)-chlorid-Lösungen durch kathodische Reduktion von Titan(IV)-chlorid-Lösungen in Zellen in denen Anolyt und Katholyt voneinander getrennt sind, diese Nachteile zu beseitigen und ein reproduzierbares und störunabhängig Herstell- bzw. Regeneriererverfahren für $TiCl_3$ -Lösungen bereitzustellen.
- 20 25 Es wurde gefunden, daß diese Aufgabe dadurch gelöst werden kann, daß man als Kathoden Graphitelektroden einsetzt, deren Oberfläche mit Boriden, Siliziden, Carbiden, Nitriden und/oder Oxiden des Titans, Wolframs, Zirkoniums, Tantals, Niobs und/oder Hafniums beschichtet sind.
- 30 35 Die Beschichtung der Elektroden erfolgt zweckmäßig mit Hilfe eines thermischen Spritzverfahrens, vorzugsweise des Plasmaspritzverfahrens. Es ist auch denkbar, diese Aktivschichten auf chemischem Wege, z.B. durch Aufbringen einer geeigneten Lösung bzw. Suspension und anschließendes

Einbrennen zu erzeugen. Als Materialien für die Kathodengrundkörper können handelsübliche Graphitsorten verwendet werden, vorzugsweise Sorten mit geringer Porosität. Es können auch Pyrolysegraphit und ebenso Abmischungen aus Graphit mit Kunststoffen (z.B. polypropylengefüllter Graphit) oder harzimprägnierter Graphit eingesetzt werden. Die Form der Graphitkörper ist nicht auf rechteckige Platten, der am meisten verwendeten Kathodenform, eingeschränkt; es können auch Graphitstäbe oder andere Formen beschichtet werden.

Bei Plasmaspritzverfahren sollte das Spritzpulver zweckmäßig eine Korngröße von 10 bis 200 μm , vorzugsweise 150 μm aufweisen. Für den Beschichtungsvorgang kann eine übliche Plasmaspritzanlage verwendet werden, wobei als Trägergas Argon, Helium und Stickstoff auch im Gemisch mit Wasserstoff eingesetzt werden können. Der Plasmabrenner wird mit einer Energie von 20 bis 60 KW, vorzugsweise 28 bis 45 KW, betrieben. Der Abstand zwischen Plasmaflamme und dem zu beschichtenden Körper sollte zweckmäßig 5 bis 14 cm, vorzugsweise 7 bis 10 cm, betragen. Die Plasmaflamme wird von dem zu beschichtenden Körper so lange hin und her bewegt, bis die Spritzschicht die gewünschte Dicke erreicht hat. Vorteilhaft beträgt die Dicke der plasmage-spritzten Schicht mindestens 10 μm , vorzugsweise 10 bis 40 μm , wobei höhere Schichtdicken zwar technisch nicht von Nachteil, aber aus wirtschaftlichen Gründen nicht unbedingt zweckmäßig sind.

Bei dem erfindungsgemäßen Einsatz der Elektroden treten bei der Reduktion salzsaurer TiCl_4 -Lösungen unerwünschte Nebenreaktionen, wie sie eingangs geschildert worden sind, nicht auf.

BASF Aktiengesellschaft

- 8 - 6

O.Z. 0050/35685

Als Elektrolyt dienen - sowohl als Anolyt als auch als Katholyt - Lösungen mit einem Gehalt an freier HCl von 0,5 bis 37 Gew.%, vorzugsweise 5 bis 20 Gew.%. Zu Beginn der Elektrolyse kann der $TiCl_4$ -Gehalt des Katholyten von 0,5 bis 45 Gew.%, vorzugsweise 5 bis 30 Gew.%, betragen.

Als Anoden können ebenfalls Graphitelektroden eingesetzt werden.

Gemäß einem weiteren Merkmal des erfindungsgemäßen Verfahrens enthält der Anolyt ebenfalls $TiCl_4$, wodurch die Materialausbeuten an $TiCl_3$ im Kathodenraum erhöht werden. Bevorzugt wird ein Verhältnis der Molaritäten an $TiCl_4$ im Anolyten und Katholyten von 1:1,7 bis 1,7:1. Der Anolyt kann mehrfach wiederverwendet werden, wobei lediglich das während der Elektrolyse an der Anode entwickelte Chlor durch kontinuierliche oder diskontinuierliche Zugabe von gasförmigem Chlorwasserstoff oder wässriger Salzsäure ergänzt werden muß.

Die Temperatur im Elektrolyten kann bei 10 bis $70^{\circ}C$, vorzugsweise bei 40 bis $60^{\circ}C$ liegen. Die Stromdichte beträgt 0,1 bis 25 A/dm^2 , vorzugsweise 5 bis 15 A/dm^2 .

Die Elektrolyse wird in Zellen durchgeführt, in denen Katholyt- und Anolyträume voneinander durch ein Diaphragma oder vorzugsweise durch eine Membran voneinander getrennt sind, z.B. Platten und Rahmenzellen, wobei diese auch mit mehreren monopolar oder bipolar geschalteten Elektroden, wie z.B. bei Filterpressenzellen, ausgerüstet sein können. Als Membranen dienen bekannte Kationenaustauschermembranen wie sie z.B. auch bei der Chloralkali-Elektrolyse eingesetzt werden, z.B. sulfonsäuregruppenhaltige Perfluor-ethylenopolymere.

35

Der Umsatz im Katholyten bemäßt sich nach den jeweiligen Erfordernissen der Verwendung der $TiCl_3$ -Lösungen. Es ist möglich, den Umsatz auf 99 % zu treiben, ohne extreme Einbußen an Stromausbeute in Kauf nehmen zu müssen; bei
5 der Herstellung von $TiCl_3$ -Lösungen für präparative Zwecke (1-2 molar) werden beispielsweise bei Stromdichten von 5 A/dm² Stromausbeuten von 60 %, Umsätze zwischen 95 % und 99 % erreicht. Ist es dagegen nötig, bei optimaler Raumzeitausbeute möglichst hohe Stromausbeuten - z.B.
10 90 % - zu erreichen, können immerhin noch Umsätze von 80 % erzielt werden.

Das Verfahren gestattet in besonders vorteilhafter Weise, Anoden- und Kathodenprozeß aufeinander abzustimmen. Die Mengenverhältnisse sind in weiten Grenzen variabel. Die erfindungsgemäß hergestellten Kathoden sind unempfindlich gegen Wasserstoff (Ti-haltige Kathoden neigen normalerweise bekanntlich zum Verspröden).
15

20 Das Verfahren kann kontinuierlich oder diskontinuierlich durchgeführt werden. Besonders vorteilhaft ist eine Arbeitsweise in der die Kathodenreaktion diskontinuierlich, die Anodenreaktion kontinuierlich betrieben wird. Diese Arbeitsweise bietet sich besonders dann an, wenn hohe Umsätze (>90 %) im Kathodenteil nötig sind.
25

Ein sofortiges Verwenden der $TiCl_3$ -Lösungen ist nicht notwendig. Die nach dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellten $TiCl_3$ -Lösungen für präparative Zwecke sind langerstabil, es hat sich sogar gezeigt, daß die Lösungen weitgehend unempfindlich sind gegenüber Luftsauerstoff.
30

Beispiel 1

A) Für die elektrolytische Reduktion wird eine Platten-Rahmenzelle verwendet, deren Kathode und Anode eine Fläche von jeweils 1 dm^2 aufweisen. Anoden- und Kathodenraum sind durch eine Membrane aus einem Perfluorethylen-[$\text{CF}_2=\text{CF}(\text{OCF}_2-\text{CF}(\text{CF}_3)(\text{CF}_2-\text{CF}_2\text{SO}_3\text{H})$]-Copolymeren (Dicke 0,1 mm, Äquivalenzgewicht 1200) voneinander getrennt. Die Anodenplatte besteht aus Graphit während die Oberfläche der Kathodenplatte zusätzlich mit Titancarbid beschichtet ist (Schichtdicke 15 bis 20 μm). Die Beschichtung wird wie folgt hergestellt:

Auf einen mit 2 bar sandgestrahlten Elektrodengrundkörper aus Graphit mit einer Oberfläche von ca. 1 dm^2 wird mit Hilfe eines Plasmabrenners TiC-Pulver mit einer Korngröße von 5 bis 45 μm und einer Spritzenergie von 40 KW aufgebracht. Als Plasmaträgergas und Plasmapulvergas wird Argon im Mengenverhältnis 2:1 verwendet. Der Spritzabstand beträgt 90 mm; der Elektrodengrundkörper wird während der Beschichtung nicht gekühlt.

Anolyt und Katholyt werden durch zwei Magnetkreisel-pumpen umgepumpt. Der Anolyt- und Katholytkreislauf bestehen aus je einem 2-l-Vierhalskolben mit Innen-thermometer und aufgesetztem Rückflußkühler; einem Glaswärmetauscher zum Thermostatisieren der Elektrolytfüssigkeit, auf den der Vierhalskolben über einen Bodenschliff aufgesetzt ist; einem Rotameter; der Pumpe und dem jeweiligen Zellenraum.

Der Elektrolyt besteht aus einer Mischung aus 500 g Salsäure (37 Gew.%), 1500 g H_2O und 1400 g TiCl_4 (7,37 Mol). Aus dieser Mischung werden 1550 g mit 1 l

- 8 -
9

HCl (37 Gew.-%) versetzt und als Anolyt verwendet,
1538 g werden mit 250 g H₂O versetzt und als Katholyt
eingesetzt. Das Molverhältnis TiCl₄ im Anolyten zu
TiCl₄ im Katholyten beträgt 1:1,5 Mol/kg Elektrolyt.

5

Bei einer Stromstärke von 5 A und einer Elektrolyse-
temperatur von 29°C wird 22 h lang elektrolysiert.
Umsatz: 98 %, Stromausbeute: 82 %, Austrag: 1857 g
einer violetten Flüssigkeit, Gehalt: 1,7 Mol/kg
TiCl₃, Materialausbeute: 94 %.

10

B) Als Katholyt wird eine Lösung eingesetzt, die durch
Verdünnung von 1554 g der in Beispiel A) beschriebe-
nen Mischung mit 250 g Wasser erhalten worden ist.

15

Als Anolyt wird der gebrauchte Anolyt des
Beispiels A) wieder eingesetzt. Die Molaritäten von
TiCl₄ im Anolyten und Katholyten verhalten sich wie
1:1,35 (bedingt durch den Chlorverlust im Anolyten).

20

Unter den in Beispiel A) genannten Bedingungen werden
folgende Ergebnisse erzielt:

Umsatz: 96 %

Stromausbeute: 82 %

25

Austrag: 1899 g einer violetten Flüssigkeit
mit einem Gehalt von 1,7 Mol/kg
TiCl₃

Materialausbeute: 95 %

30

C) Ähnliche Ergebnisse werden erzielt, wenn man an-
stelle einer mit Titancarbid beschichteten Graphit-
platte eine solche einsetzt, die a) mit Titansilicid
(TiSi₂) bzw.b) mit Wolframcarbid beschichtet ist.

35

Beispiel 2

Es wird wie in Beispiel 1 beschrieben verfahren, mit dem einzigen Unterschied, daß dem Katholyten 2 g einer 5 45 gew.%igen Lösung von Dimethyl-Benzyl-(C₁₃-C₁₅-Al-kyl)-ammoniumchlorid (Emulgator) zugesetzt wird. Nach 22stündiger Versuchsdauer erhält man folgende Ergebnisse:

10 Umsatz: 96 %
 Stromausbeute: 82 %
 Austrag: 1812 g einer violetten Flüssigkeit mit
 einem Gehalt von 1,7 Mol/kg TiCl₃
 Materialausbeute: 92 %.

Vergleichsbeispiel

Bei einer Wiederholung der Beispiele 1 und 2 mit dem einzigen Unterschied, daß anstelle der Titancarbidbeschichteten Graphit-Kathode eine unbeschichtete Graphitplatte 20 eingesetzt wird, erzielt man folgende Ergebnisse:

	a) analog Beispiel 1 (ohne Emulgator)	b) analog Beispiel 2 (mit Emulgator)
Umsatz	90 %	31 %
25 Stromausbeute	78 %	24 %
Gehalt TiCl ₃	1,65 Mol/kg	0,55 Mol/kg
Materialausbeute	90 %	30 %

Beispiel 3

In einer wie in Beispiel 1 beschriebenen Apparatur wird 30 eine Kathode eingesetzt, die anstelle mit Titancarbid mit Titanborid beschichtet ist. Die Beschichtung wird wie folgt hergestellt:

- Auf einen mit 2 bar sandgestrahlten Elektrodengrundkörper aus Graphit mit einer Oberfläche von ca. 1 dm^2 wird mit Hilfe eines Plasmabrenners TiB_2 -Pulver mit einer Korngröße von 16 bis $90 \mu\text{m}$ und einer Spritzenergie von 5 40 KW aufgebracht. Als Plasmaträgergas und Plasmapulvergas wird Argon im Mengenverhältnis 2:1 verwendet. Der Spritzabstand beträgt 90 mm; der Elektrodengrundkörper wird während der Beschichtung nicht gekühlt.
- 10 In dieser Zelle wird unter den in Beispiel 1 beschriebenen Bedingungen eine TiCl_4 -Lösung wieder regeneriert, die bei der Reduktion einer aromatischen Azoxyverbindung anfällt. Die für die Reduktion eingesetzte TiCl_3 -Lösung enthält pro kg 1,67 Mol TiCl_3 sowie 1,8 g einer 80 gew.%igen 15 Lösung von Dimethyl-($\text{C}_{12}\text{-C}_{14}$ -Alkyl)-benzyl-ammoniumchlorid als Emulgator. Nach beendeter Reduktion wird das Reaktionsprodukt abgetrennt und die TiCl_4 -haltige Lösung ohne weitere Reinigung der Elektrolysezelle zugeführt. Lediglich die bei der Umsetzung verlorengegangenen Titansalzmenge werden durch Zugabe der in Beispiel 1 beschriebenen 20 Katholytlösung ergänzt. Dem Anolyten wird von Zeit zu Zeit konzentrierte Salzsäure zugesetzt, um die Chlorverluste auszugleichen. Die Molverhältnisse TiCl_4 im Anolyten [Mol/kg] und im Katholyten [Mol/kg] schwanken im Bereich 25 1:1,6 bis 1:1.

Es werden folgende Ergebnisse erzielt:

Umsatz:	99,4 %
Stromausbeute:	62 %
Durchschnittl. TiCl_3 -Gehalt:	1,67 Mol/kg
Materialausbeute:	94 %

Diese Werte sind auch nach mehr als 40 Versuchen unverändert.

Beispiel 4

Auf einen sandgestrahlten Graphitstab wird mit Hilfe eines Plasmabrenners ein Gemisch aus 95 Gew.% HfO_3 und 5 Gew.% ZrO_2 mit einer Korngröße von 5 bis 20 μm bei einer Spritzenergie von 66 kW aufgebracht. Als Plasmaträgergas und Plasmapulvergas wird jeweils Argon im Mengenverhältnis 2:1 eingesetzt. Der Spritzabstand beträgt 80 mm, der Graphitgrundkörper wird nicht gekühlt. Die Dicke der $\text{HfO}_3/\text{ZrO}_2$ -Schicht beträgt 80 μm , die Elektrodenoberfläche $0,42 \text{ dm}^2$.

Diese Elektrode wird in einer gläsernen zylindrischen Zelle mit einem Fassungsvermögen von 1 l als Kathode eingesetzt. Kathoden- und Anodenraum sind durch ein zylindrisches Tondiaphragma voneinander getrennt. Als Anode wird eine zylindrische Graphitplatte eingesetzt. Anolyt (200 g) und Katholyt (800 g) haben jeweils die folgende Zusammensetzung: 41,6 Gew.% TiCl_4 , 5,4 Gew.% HCl und 53 Gew.% H_2O .

Bei einer Stromdichte von 5 A/dm^2 wird solange elektrolysiert, bis der Gehalt an TiCl_3 im Katholyten bei 0,24 Mol/kg liegt. Das gleiche Ergebnis wird erzielt, wenn der Katholyt zusätzlich 1 g Dimethyl-Benzyl- $\text{C}_{13}-\text{C}_{15}$ -Alkyl-Ammoniumchlorid enthält.

Beispiel 5

Wie in Beispiel 4 beschrieben, wird ein Graphitstab mit ZrN in einer Schichtdicke von 120 μm beschichtet. Die Korngröße des ZrN beträgt 5 bis 36 μm , die Spritzenergie beträgt 29 kW. Als Plasmaträgergas wird ein Gemisch von Stickstoff und Argon, als Plasmapulvergas Argon verwendet. Das Mengen(volumen)-Verhältnis N_2 -Plasmaträgergas:Ar-Plasmaträgergas:Ar-Plasmapulvergas beträgt 8:1:2, der

• Spritzabstand 90 mm. Der Graphitgrundkörper wird nicht gekühlt.

5. Diese Elektrode wird in der in Beispiel 4 beschriebenen Zelle als Kathode eingesetzt. Es wird bei einer Stromdichte von 10 A/dm^2 bis zu einem Gehalt an TiCl_3 im Katholyten von 0,44 Mol/kg (bestimmt durch Redoxtitration) elektrolysiert.
- 10 Setzt man dem Katholyten 1 g Dimethyl-Benzyl- $\text{C}_{13}\text{-C}_{15}$ -Alkyl-Ammoniumchlorid zu, erzielt man unter denselben Bedingungen eine TiCl_3 -Konzentration von 0,45 Mol/kg.

15

20

25

30

35